



REC'D 16 AUG 2000

WIPO

PCT

PCT/FR 00 / 01828

6/8-02

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 27 JUIN 2000

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

#### SIÈGE

26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cédex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30





## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **30 JUIN 1999**  
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **9908379**  
DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **75 INPI PARIS**  
DATE DE DÉPÔT **30 JUIN 1999**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BREVATOME  
3, rue du Docteur Lancereaux  
75008 PARIS  
422-5/S002

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention ☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité ☐ transformation d'une demande de brevet européen

☐ demande initiale

☐ brevet d'invention

Établissement du rapport de recherche

☐ différé ☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui ☐ non

n° du pouvoir permanent 07068 références du correspondant B 13302,3 JL DD 1923 téléphone 0153839400

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

PROCEDE DE REALISATION D'UN FILM MINCE UTILISANT UNE MISE SOUS  
PRESSION

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Forme juridique

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE  
Etablissement public de caractère  
Scientifique, Technique et Industriel

Nationalité (s) Française

Adresse (s) complète (s)

31-33, rue de la Fédération  
75752 PARIS 15ème

Pays

FRANCE

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui ☒ non Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois ☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

J. LEHU

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DEPARTEMENT DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 Paris Cédex 08

B 13302.3 JL

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9908379

TITRE DE L'INVENTION :

PROCEDE DE REALISATION D'UN FILM MINCE UTILISANT UNE MISE  
SOUS PRESSION

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

J. LEHU

c/o BREVATOME

3, rue du Docteur Lancereaux  
75008 PARIS FRANCE  
422-5/S002

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

ASPAR Bernard

110, lot. 1e Hameau des Ayes  
38140 RIVES  
FRANCE

BRUEL Michel

Presvert n°9  
38113 VEUREY  
FRANCE

MORICEAU Hubert

26, rue du Fournet  
38120 SAINT EGREVE  
FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

Paris, le 30 juin 1999

  
J. LEHU

# PROCEDE DE REALISATION D'UN FILM MINCE UTILISANT UNE MISE SOUS PRESSION

## Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé de réalisation d'un film mince de matériau solide. Elle concerne en particulier la réalisation d'un film mince d'un matériau semi-conducteur tel que par exemple le silicium.

10

## Etat de la technique antérieure

Le document FR-A-2 681 472 (correspondant au brevet américain 5 374 564) décrit un procédé de fabrication de films minces de matériau semi-conducteur. Ce document divulgue que l'implantation d'un gaz rare et/ou d'hydrogène dans un substrat en matériau semi-conducteur est susceptible de créer une couche de microcavités ou des microbulles (encore désignées par le terme "platelets" dans la terminologie anglo-saxonne) à une profondeur voisine de la profondeur moyenne de pénétration des ions implantés. Ce substrat est mis en contact intime, par sa face implantée avec un support servant de raidisseur. En outre, un traitement thermique est appliqué à une température suffisante pour induire une interaction (ou coalescence) entre les microcavités ou les microbulles conduisant à une séparation du substrat semi-conducteur en deux parties : un film mince semi-conducteur adhérent au raidisseur d'une part, le reste du substrat semi-conducteur d'autre part. La séparation a lieu à l'endroit où les microcavités ou microbulles sont présentes, c'est-à-dire le long de la couche de microcavités. Le traitement thermique est tel que

l'interaction entre les microbulles ou microcavités créées par implantation induit une séparation entre le film mince et le reste du substrat. Il y a donc transfert d'un film mince depuis un substrat initial  
5 jusqu'à un raidisseur servant de support à ce film mince.

Ce procédé peut également s'appliquer à la fabrication d'un film mince de matériau solide autre qu'un matériau semi-conducteur (un matériau conducteur  
10 ou diélectrique), cristallin ou non. Ce film peut être monocouche ou multicouche

Ainsi, l'implantation d'espèces gazeuses est apte à créer en profondeur des cavités ou microbulles ou microfissures qui vont former une couche  
15 fragilisée au voisinage de la profondeur à laquelle les ions s'arrêtent. En fonction de la nature et des conditions d'implantation, la zone implantée est plus ou moins fragile. Elles sont choisies de façon que la surface implantée du substrat ne présente aucune  
20 déformation. Si des déformations de cette surface apparaissent, sous forme de cloques (ou "blisters" en anglais), ces déformations traduisent une trop forte fragilisation de la zone implantée.

Le document FR-A-2 681 472 enseigne que,  
25 pour obtenir le report d'un film mince sur un support, il est nécessaire de solidariser le substrat implanté et le support (ou raidisseur) avant de provoquer la séparation du film mince d'avec son substrat d'origine, cette séparation pouvant résulter d'un traitement  
30 thermique et/ou d'un traitement mécanique (comme l'enseigne le document FR-A-2 748 851). La solidarisation est obtenue par la mise en contact intime du substrat implanté et du support par l'intermédiaire d'un collage par adhésion moléculaire,  
35 d'une colle ou à l'aide d'un composé intermédiaire

(couche isolante, couche conductrice, etc.). Cette solidarisation n'est possible que si la surface implantée ne possède pas de déformation, donc si des cloques ne sont pas apparues.

5 Dans certains cas, il n'est pas possible de  
solidariser le substrat implanté et le support servant  
de raidisseur, notamment à cause de coefficients de  
dilatation thermique différents. Il arrive aussi que  
10 les forces de collage ne sont pas suffisantes pour  
provoquer l'effet raidisseur. Il faut donc, pour  
obtenir un film mince par exemple monocristallin sur un  
support quelconque, utiliser un procédé dérivé de celui  
divulgué par le document FR-A-2 681 472, comme par  
exemple le procédé divulgué par le document  
15 FR-A-2 738 671 (correspondant au brevet américain  
5 714 395). Selon ce procédé, pour obtenir la  
séparation du film mince de son substrat d'origine, il  
faut que les espèces gazeuses implantées se trouvent à  
une profondeur suffisante et/ou que l'on dépose, après  
20 l'étape d'implantation, une couche d'un matériau  
permettant de rigidifier la structure pour obtenir la  
séparation au niveau de la zone implantée. Le film  
obtenu est alors autoporté.

Pour les deux procédés mentionnés ci-  
25 dessus, la rugosité de surface du film mince après  
transfert est plus ou moins forte, selon les conditions  
d'implantation et/ou de séparation (traitement  
thermique et/ou mécanique) utilisées pour obtenir cette  
séparation. Il peut alors être intéressant de  
30 fragiliser de façon plus importante la zone contenant  
les cavités. Il serait ainsi possible d'obtenir la  
séparation de façon plus facile que dans le cas  
habituel, c'est-à-dire que la séparation pourrait se  
faire à l'aide de forces mécaniques plus faibles et/ou  
35 à l'aide d'un budget thermique plus faible.

Parmi les différents moyens permettant de fragiliser la zone implantée on peut citer l'augmentation de la dose des espèces gazeuses implantées et/ou la réalisation d'un traitement thermique qui peut correspondre au traitement thermique divulgué dans le document FR-A-2 681 472. Cependant, comme indiqué plus haut, il faut limiter la dose implantée et/ou le budget thermique avant l'étape de solidarisation pour éviter des déformations de la surface implantée.

Ainsi, il n'existe pas de moyen acceptable pour fragiliser davantage la zone implantée avant de mettre en œuvre l'étape de séparation. L'existence d'un tel moyen permettrait de diminuer les budgets thermiques et/ou les forces mécaniques permettant la séparation. On pourrait ainsi reporter des films minces sur des supports ne supportant pas les températures élevées en utilisant le procédé divulgué par le document FR-A-2 681 472. On pourrait également obtenir de façon plus facile la séparation de films épais en utilisant le procédé divulgué par le document FR-A-2 738 671. Ces films épais pourraient ensuite être reportés sur tout type de support, même ceux qui ne permettent pas d'obtenir des forces de collage importantes entre le film et le support. En outre, une fragilisation plus importante de la zone implantée permettrait, tout en favorisant la fracture, de diminuer la rugosité de la surface libre du film après transfert.

Le problème posé est donc de parvenir à fragiliser davantage la zone implantée sans induire de cloques sur la surface implantée du substrat d'origine.



## Exposé de l'invention

5 L'invention apporte une solution à ce problème. Il est proposé d'appliquer une pression sur la face implantée du substrat, au moins pendant une partie de la coalescence des microcavités, afin de favoriser cette coalescence et d'empêcher les espèces gazeuses implantées de s'échapper du substrat.

10 L'invention a donc pour objet un procédé de réalisation d'un film mince à partir d'un substrat de matériau solide présentant une face plane, comprenant :

- l'implantation d'espèces gazeuses dans le substrat pour constituer une couche de microcavités  
15 située à une profondeur par rapport à ladite face plane correspondant à l'épaisseur du film mince désiré, les espèces gazeuses étant implantées dans des conditions susceptibles de fragiliser le substrat au niveau de la couche de microcavités,

20 - la séparation partielle ou totale du film mince du reste du substrat, cette séparation comportant une étape d'apport d'énergie thermique et d'application de pression sur ladite face plane.

On entend par espèces gazeuses des  
25 éléments, par exemple d'hydrogène ou de gaz rares, sous leur forme atomique (par exemple H) ou sous leur forme moléculaire (par exemple H<sub>2</sub>) ou sous leur forme ionique (par exemple H<sup>+</sup>, H<sub>2</sub><sup>+</sup>) ou sous leur forme isotopique (par exemple deutérium) ou sous forme isotopique et ionique.

30 Par ailleurs, on entend par implantation ionique tout type d'introduction des espèces définies précédemment, seul ou en combinaison, tel que le bombardement ionique, la diffusion, etc.

L'énergie thermique conduit, quel que soit  
35 le type de matériau solide, à la coalescence des

microcavités ou microfissures, ce qui amène une fragilisation de la structure au niveau de la couche de microcavités. Cette fragilisation permet la séparation du matériau sous l'effet de contraintes internes et/ou de pression dans les microcavités, cette séparation pouvant être naturelle ou assistée par application de contraintes externes.

L'application de pression permet de favoriser la coalescence des microcavités tout en évitant la formation de cloques sur la face plane. Cette pression dépend de l'état de contrainte de la zone implantée.

Par séparation partielle, on entend une séparation comportant des points d'attache entre le film mince et le reste du substrat.

Ladite pression peut être une pression gazeuse et/ou une pression mécanique produite par exemple par un piston. Elle peut être appliquée de manière localisée ou de manière uniforme sur la face plane.

Le procédé peut comprendre en outre, après l'implantation des espèces gazeuses, la solidarisation d'un épaisseur sur ladite face plane. L'épaisseur peut être constitué par une plaquette qui est, par exemple, solidarisée par collage moléculaire avec ladite face plane. L'épaisseur peut aussi être constitué par un dépôt d'un ou de plusieurs matériaux. La pression peut alors être appliquée par l'intermédiaire de l'épaisseur. Cet épaisseur joue le rôle de raidisseur. Dans ce cas, la pression permettant de favoriser la coalescence des microcavités et d'éviter la formation de cloques tient compte de l'épaisseur. En effet, celui-ci peut induire des contraintes sur la structure, favorisant la coalescence des microcavités.

Avantageusement, au cours de la réalisation de la coalescence d'au moins une partie des microcavités, ladite pression est ajustée pour rester  
5 légèrement au-dessus d'une pression, dite pression limite, au-dessous de laquelle il y a apparition de cloques sur ladite face plane et au-dessus de laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur ladite face plane. Ceci permet d'éviter l'application de  
10 suppressions inutiles.

La pression limite évolue dans le temps avec l'évolution de la coalescence des microcavités. Aussi, la pression utilisée selon l'invention peut être la pression limite maximale ou être une pression limite  
15 appliquée progressivement durant le procédé et qui varie en fonction de la coalescence des microcavités qui dépend en particulier du budget thermique (temps, température). La pression limite dépend donc du budget thermique. Ainsi par exemple pour un film de 300 nm de  
20 Si et de 5  $\mu\text{m}$  de  $\text{SiO}_2$ , pour un recuit à 450°C à durée donnée en isotherme, il faut appliquer une pression de l'ordre de quelques bars pour avoir la séparation alors que sans l'apport de pression, c'est-à-dire à pression atmosphérique, il est nécessaire de recuire à plus de  
25 470°C, pour la durée donnée, pour avoir la séparation et l'obtention d'un film.

La réalisation de la coalescence peut être menée de telle façon que la séparation du film mince du reste du substrat est obtenue par leur simple  
30 écartement.

Selon un autre mode de mise en œuvre, la séparation du film mince du reste du substrat est obtenue par l'application d'un traitement thermique et/ou par l'application de forces mécaniques.

On peut utiliser comme substrat de départ un substrat ayant déjà servi pour fournir, par ledit procédé, un film mince. Ce substrat ayant déjà servi peut être par exemple poli pour offrir une nouvelle  
5 face plane.

Eventuellement, le substrat supporte, du côté de ladite face plane, une ou plusieurs couches homogènes et/ou hétérogènes. Il peut être constitué, au moins du côté de ladite face plane, d'un matériau semi-  
10 conducteur. Il peut comprendre, du côté de ladite face plane, tout ou partie d'au moins un dispositif électronique et/ou d'au moins un dispositif électro-optique.

L'invention permet, par l'utilisation d'une  
15 pression, d'obtenir des films autoportés de plus faible épaisseur qu'avec un procédé sans pression. En effet, la pression évite la relaxation des microcavités sous forme de cloques et permet l'interaction de ces microcavités pour conduire à la séparation.

L'invention permet également de différer la  
20 séparation du film mince par la mise en œuvre d'une étape supplémentaire consistant à appliquer une surpression sur le film mince.

---

## 25 Brève description des dessins

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre  
30 d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- les figures 1 à 3 illustrent de manière schématique les différentes étapes du procédé de réalisation d'un film mince selon la présente  
35 invention,

- la figure 4 est un diagramme montrant l'évolution, en fonction du temps, de la pression appliquée sur la face implantée d'un substrat au cours d'une étape du procédé de réalisation d'un film mince  
5 selon la présente invention.

#### Description détaillée de mode de réalisation de l'invention

10 Le principe mis en œuvre dans l'invention repose sur l'utilisation de la pression au cours d'un ou de plusieurs traitements thermiques pour fragiliser la zone implantée tout en empêchant la formation de cloques.

15 La coalescence peut être réalisée en combinant un cycle de traitement thermique associé à un cycle de mise sous pression de façon à pouvoir augmenter le phénomène de fragilisation sans création de cloques sur la face implantée. La pression peut être  
20 une pression de gaz. Le phénomène de fragilisation peut être mené jusqu'à la séparation totale des deux parties du substrat. En effet, pendant la réalisation de la coalescence, le processus de fragilisation du substrat à la profondeur d'implantation des ions se développe et  
25 peut aller au-delà des limites qu'un simple traitement thermique permettrait. La pression appliquée sur la face implantée du substrat permet ce résultat en empêchant la formation de cloques sur la face implantée et en empêchant aussi certaines cloques d'exploser  
30 comme cela peut se produire en l'absence de pression appliquée. On fragilise ainsi beaucoup le substrat le long de la couche de microcavités.

Les figures 1 à 3 sont des vues transversales d'un substrat semi-conducteur auquel le  
35 procédé selon l'invention est appliqué.

Le substrat semi-conducteur 1 présente une face plane 2. Par face plane, on entend une face dont le plan moyen est plan. Cela comprend les plaques qui présentent une micro-rugosité de surface dont les valeurs de rugosité vont de quelques dixièmes de nanomètres à plusieurs centaines de nanomètres. Les inventeurs de la présente invention ont pu mettre en évidence qu'une implantation à travers une surface présentant une micro-rugosité, par exemple d'une valeur RMS (valeur quadratique moyenne) de 10 nm, ne perturbe pas le mécanisme de fragilisation et la fracture subséquente. Cette constatation est intéressante car cette rugosité est de l'ordre de grandeur de la rugosité de la face libre du film après transfert. Il est donc possible dans ces conditions de recycler plusieurs fois le même substrat sans recourir à un polissage de surface.

La figure 1 illustre l'étape d'implantation d'espèces gazeuses. La face plane 2 est bombardée par exemple par des ions d'hydrogène, comme l'enseigne le document FR-A-2 681 472. Ce bombardement ionique est figuré par les flèches 3. On crée ainsi une couche de microcavités 4.

Eventuellement, le procédé selon l'invention peut comprendre une opération d'épaississement du film mince désiré. On peut par exemple, après l'étape d'implantation, rapporter par collage par adhésion moléculaire, ou par un autre type de collage, une plaquette sur la face implantée du substrat. On peut pour cela utiliser un équipement qui permet la mise en contact du substrat et de la plaquette dans une enceinte sous pression. L'application d'une pression sur la face plane du substrat peut alors se faire simultanément avec le collage de la plaquette d'épaississement.

Cette opération d'épaississement est  
avantageuse à réaliser en utilisant un procédé dérivé  
de celui divulgué dans le document FR-A-2 738 671. On  
peut par exemple déposer sur la face plane du substrat  
5 un ensemble de matériaux pour le rigidifier. Ces dépôts  
peuvent être des croissances épitaxiales ou  
hétéroépitaxiales ou des dépôts de matériaux amorphes  
ou polycristallins. A titre d'exemple, du silicium peut  
être déposé sur la face plane d'un substrat déjà  
10 implanté. Qu'il soit collé ou déposé, le matériau  
rapporté peut être qualifié d'épaisseur.

Pour des conditions expérimentales données  
(matériaux, ions, dose, énergie, température  
d'implantation et de recuit), pour chaque épaisseur de  
15 film mince (épaissi ou non) il existe une valeur limite  
pour la pression appliquée sur la face plane du  
substrat ou  $P_{limite}$  au-dessous de laquelle il y a  
apparition de cloques sur la face plane et au-dessus de  
laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur la face  
20 plane. Par exemple,  $P_{limite}$  vaut 20 bars pour une  
épaisseur totale de 2  $\mu m$  de silicium et vaut la  
pression atmosphérique pour 5  $\mu m$  de silicium. Il est  
donc possible, lors de la réalisation de l'étape de  
coalescence selon l'invention, d'ajuster la pression au  
25 fur et à mesure du déroulement de l'étape pour que  
celle-ci reste au voisinage de  $P_{limite}$ . Ceci permet  
d'éviter l'application de surpressions inutiles.

$P_{limite}$  est aussi fonction de la quantité  
restante d'espèces gazeuses introduites lors de  
30 l'implantation ionique. Cette quantité de gaz peut  
évoluer au cours du temps du fait de la diffusion du  
gaz, activée en particulier par la température, et du  
fait de la croissance des microcavités qui contiennent  
ce gaz. La pression limite permet d'éviter la formation  
35 de cloques mais ne doit pas limiter la croissance des

cavités ou microfissures présentes au voisinage de la profondeur d'implantation. Lorsque les micro-fissures augmentent de taille, la même quantité de gaz occupe un volume plus grand et en conséquence  $P_{\text{limite}}$  diminue. Il est ainsi possible de déterminer une étape de réalisation de la coalescence telle que la pression exercée et la pression limite suivent chacune un cycle commençant à la pression atmosphérique et y revenant. La pression effectivement exercée reste supérieure ou égale à la pression limite. On récupère ainsi en fin de cycle, à la pression atmosphérique, une couche fragilisée.

Sous certaines conditions il est aussi possible que la séparation totale du substrat en deux parties intervienne durant l'étape de réalisation de la coalescence. Le cycle est alors terminé.

La figure 2 illustre l'étape de réalisation de la coalescence des microcavités par apport d'énergie thermique  $T$  et application de pression  $P$ . La pression appliquée correspond par exemple au cycle du diagramme de la figure 4, représentant l'évolution de la pression  $P$  en fonction du temps  $t$ . La pression appliquée suit le cycle pression atmosphérique ( $P_{\text{atm}}$ ) - pression limite ( $P_{\text{limite}}$ ) - pression atmosphérique ( $P_{\text{atm}}$ ). Les microcavités ont tendance à coalescer pour former des microfissures 5.

La figure 3 illustre l'étape de séparation à l'issue de laquelle un film mince 6 est détaché du reste du substrat 1. Deux cas peuvent se présenter à l'issue de l'étape précédente : le film peut ne pas être totalement séparé du substrat ou en être totalement séparé.

Le procédé peut être mené de façon que le film mince ne soit pas totalement séparé de son substrat d'origine. Dans ce cas, le film mince peut



être par exemple récupéré grâce à un support raidisseur, comme l'enseigne le document FR-A-2 681 472, rendu solidaire de la face implantée du substrat. Grâce à l'invention, cette récupération est plus facile car la fragilisation de la zone implantée est plus grande. Ceci signifie que les budgets thermiques nécessaires sont plus faibles et/ou que l'énergie d'arrachement nécessaire est plus faible. L'avantage d'un budget thermique (temps et/ou température) plus faible est la possibilité d'associer des matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents. L'avantage d'une énergie d'arrachement plus faible est la possibilité de choisir une énergie de liaison du raidisseur plus faible, ce qui peut permettre la séparation ultérieure plus aisée du film mince et du raidisseur conformément à l'enseignement du document FR-A-2 725 074.

Le procédé peut être mené de façon que le film mince soit totalement séparé de son substrat d'origine. Le collage d'un support raidisseur n'est pas forcément nécessaire. On peut obtenir un film autoporté comme l'enseigne le document FR-A-2 738 671. Cependant, grâce à l'invention les films minces peuvent être obtenus pour des épaisseurs beaucoup plus faibles. A titre d'exemple, dans le cas du silicium monocristallin l'énergie minimum requise pour l'implantation ionique est de 500 keV selon le document FR-A-2 738 671. Grâce à l'invention, l'application d'une pression de 20 bars permet d'abaisser l'énergie d'implantation minimum (pour se passer de raidisseur) à environ 150 keV. Il est alors possible d'utiliser des implanteurs standard.

A titre d'exemple, on va maintenant décrire l'obtention d'un film de silicium selon la présente invention. La face plane d'un substrat de silicium est bombardée par des protons à une dose susceptible de

conduire à l'apparition de cloques sur la face bombardée au cours d'un traitement thermique à 500°C. Cette dose peut être de l'ordre de  $10^{17}$  cm<sup>-2</sup> pour une énergie d'implantation de 150 keV. Dans une première phase, on réalise un traitement thermique classique pour activer le mécanisme de croissance des microcavités (par exemple à 250°C pendant 2 heures). Dans cette première phase, l'application d'une pression n'est pas nécessaire car la coalescence des microcavités n'est pas suffisante pour conduire à la formation de cloques détectables : la pression limite est inférieure ou égale à la pression atmosphérique. Dans une deuxième phase, la face implantée du substrat est mise sous pression (20 bars) et la température est élevée de 300 à 400°C en 15 minutes pour rester stationnaire pendant 1 heure. On obtient alors la séparation totale entre les deux parties du substrat. La température est alors abaissée et la pression est ramenée à la pression atmosphérique. Le film mince peut alors être récupéré.

Dans le cas où un support raidisseur est utilisé, la fragilisation de la zone implantée est obtenue sous pression et la température est diminuée pour relaxer la pression induite par la quantité de gaz et la température. En effet, il faut tenir compte du fait que la diminution de température entraîne une nette diminution de la pression à l'intérieur des microcavités ou des microfissures.

Ce procédé de l'invention présente de nombreux avantages. Il permet d'obtenir des fractures avec des rugosités plus faibles que celles obtenues avec les procédés de l'art connu. Ceci permet de diminuer l'épaisseur à enlever éventuellement par polissage, par exemple, lors de la réalisation de substrats Silicium-Sur-Isolant (substrats SOI). Le

polissage introduisant une dispersion d'épaisseur qui est fonction de l'épaisseur enlevée, l'invention permet de réaliser des substrats SOI plus homogènes en épaisseur. De plus, la zone perturbée après fracture  
5 étant plus faible, l'invention procure une diminution du nombre de défauts résiduels dans le film mince.

La possibilité d'épaissir permet de réaliser des films plus épais, par exemple d'une dizaine de micromètres ou plus. Ces films minces  
10 peuvent servir pour fabriquer des structures SOI épaisses destinées à la réalisation de dispositifs de puissance ou pour réaliser des substrats pour la fabrication de cellules solaires en "couche fine".

Le procédé de l'invention permet d'utiliser  
15 plusieurs fois le substrat d'origine après éventuellement un polissage de la face révélée du substrat après le détachement du film mince.

Le procédé est applicable aux matériaux semi-conducteurs ainsi qu'aux autres matériaux  
20 monocristallins ou non.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un film mince  
(6) à partir d'un substrat (1) de matériau solide  
5 présentant une face plane (2), comprenant :

- l'implantation d'espèces gazeuses dans le  
substrat (1) pour constituer une couche de microcavités  
(4) située à une profondeur par rapport à ladite face  
plane (2) correspondant à l'épaisseur du film mince  
10 désiré, les espèces gazeuses étant implantées dans des  
conditions susceptibles de fragiliser le substrat au  
niveau de la couche de microcavités,

- la séparation partielle ou totale du film  
mince (6) du reste du substrat (1), cette séparation  
15 comportant une étape d'apport d'énergie thermique et  
d'application de pression sur ladite face plane.

2. Procédé selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que ladite pression est une pression  
gazeuse.

20 3. Procédé selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que ladite pression est une pression  
mécanique.

4. Procédé selon la revendication 3,  
caractérisé en ce que ladite pression mécanique est  
25 produite par un piston.

5. Procédé selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que ladite pression est appliquée de  
manière localisée sur ladite face plane (2).

30 6. Procédé selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que ladite pression est appliquée de  
manière uniforme sur ladite face plane (2).

7. Procédé selon la revendication 1,  
caractérisé en ce qu'il comprend en outre, après  
l'implantation des espèces gazeuses, la solidarisation  
35 d'un épaisseur sur ladite face plane (2).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'épaisseur est constitué par une plaquette.

5 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la plaquette est solidarisée par collage moléculaire avec ladite face plane (2).

10 10. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'épaisseur est constitué par un dépôt d'un ou de plusieurs matériaux.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que ladite pression est appliquée par l'intermédiaire de l'épaisseur.

12. Procédé selon la revendication 1, 15 caractérisé en ce que, au cours de la réalisation de la coalescence d'au moins une partie des microcavités, ladite pression est ajustée pour rester légèrement au-dessus d'une pression, dite pression limite, au-dessous de laquelle il y a apparition de cloques sur ladite 20 face plane (2) et au-dessus de laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur ladite face plane (2).

13. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la réalisation de la coalescence est menée de telle façon que la séparation du film 25 mince (6) du reste du substrat (1) est obtenue par leur simple écartement.

14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la séparation du film mince (6) du reste du substrat (1) est obtenue par l'application 30 d'un traitement thermique et/ou par l'application de forces mécaniques.

15. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on utilise comme substrat de départ un substrat ayant déjà servi pour fournir, par 35 ledit procédé, un film mince.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le substrat ayant déjà servi est poli pour offrir une nouvelle face plane.

5 17. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat supporte, du côté de ladite face plane, une ou plusieurs couches homogènes et/ou hétérogènes.

10 18. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (1) est constitué, au moins du côté de ladite face plane (2), d'un matériau semi-conducteur.

15 19. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (1) comprend, du côté de ladite face plane, tout ou partie d'au moins un dispositif électronique et/ou d'au moins un dispositif électro-optique.

20 20. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la séparation du film mince est différée par la mise en oeuvre d'une étape supplémentaire consistant à appliquer une surpression sur le film mince.

1/1

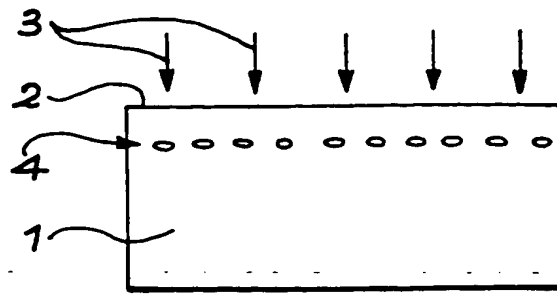


FIG. 1

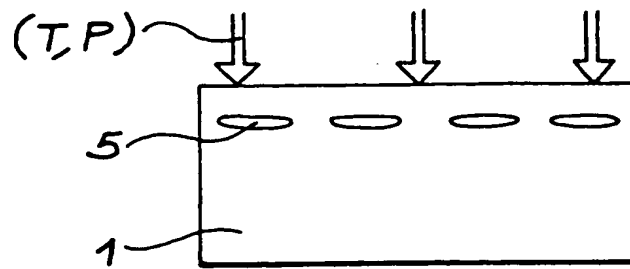


FIG. 2

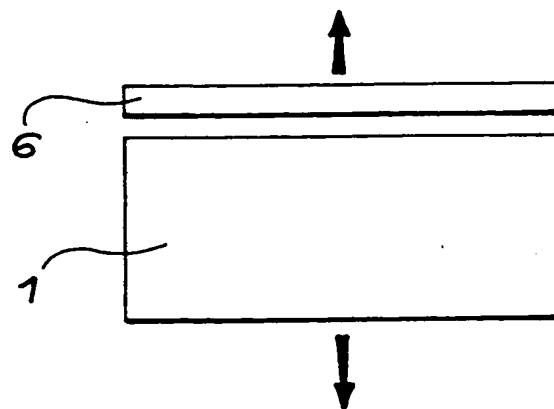


FIG. 3

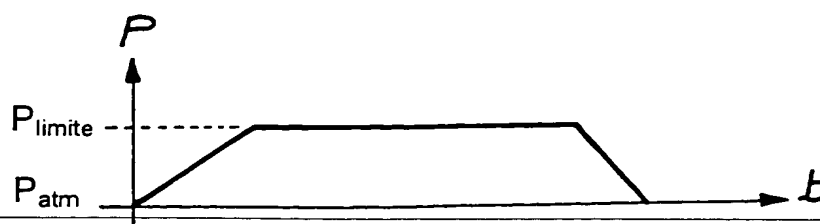


FIG. 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)